



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R72:1990

GRUDIS-system

Utvärdering Hammarstrand

Kjell Larsson

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135479

Bygghörskningsrådet

R72:1990

GRUDIS-SYSTEM

Utvärdering Hammarstrand

Kjell Larsson

Denna rapport hänförs till forskningsanslag 890868-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Energipla-
nerarna AB, Stockholm.

REFERAT

En fastbränsleanläggning med GRUDIS-system för värmedistributionen har byggts i Hammarstrand med experimentbyggnadslån från BFR.

Syftet med projektet är att utvärdera anläggningen med avseende på ekonomi och teknisk funktion.

Resultatet redovisas i utvärderingsrapporten:

GRUDIS-system med fastbränsleanläggning och rök-gaskylare i Hammarstrand. November 1989.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R72:1990

ISBN 91-540-5231-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

gotab Stockholm 1990

Innehållsförteckning

Sammanfattning

- 1. Bakgrund**
- 2. Systemets utformning i stort**
 - 2.1 Systemprinciper**
 - 2.2 Uppnådda resultat**
- 3. Anläggningsutformning och investeringar**
 - 3.1 Värmecentral**
 - 3.2 Distributionssystem**
 - 3.3 Abonnentcentraler**
- 4. Mätresultat**
 - 4.1 Värmedistributionssystemet**
 - 4.2 Värmecentralen**
 - 4.3 Abonnentcentralerna**
- 5. Ekonomi**
 - 5.1 Förväntat ekonomiskt utfall**
 - 5.2 Verkligt ekonomiskt utfall**
 - 5.3 Diskussion av det ekonomiska utfallet**

Förord

Föreliggande rapport avser en teknisk och ekonomisk utvärdering av den första GRUDIS-anläggning som byggts i full skala. Anläggningen uppfördes i tätorten Hammarstrand av Ragunda Energi AB med finansiellt stöd från Statens råd för byggnadsforskning.

Utformningen av utvärderingsprojektet har skett i nära samarbete med Studsvik Energiteknik AB, som också medverkat i ett flertal faser av utvärderingen samt lämnat underlag från anläggningsskedet till rapporten. Ett tack till Sören Persson, Håkan Walletun, Ulf Jansson och Leif Ericsson för medverkan i utvärderingen och för ett entusiastiskt arbetet med GRUDIS distributionssystem.

Ett speciellt tack också till professor Olof Söderberg, KTH, som varit projektets vetenskaplig granskare.

Mätadorsystemet, som fungerade med hög tillgänglighet under hela utvärderingen, programmerades och installerades av Johan Rodling och Anders Österlund vid Technical Systems i Uppsala. Elinstallationerna utfördes av Dväsätts El AB.

Ett tack också till personalen vid Ragunda Energi AB som hjälpt till på många sätt i det praktiska arbetet.

Vid EnergiPlanerarna har, förutom undertecknad, medverkat Karin Segerud (fastbränsle) och Claes-Göran Boström (mätdatabehandling).

Stockholm i november 1989

Kjell Larsson

Sammanfattning

Det centrala värmeförsörjningssystem i Hammarstrand som försörjer 20 av ortens fastigheter har utformats som ett GRUDIS-system. Det innebär att tappvarmvatten produceras centralt i värmecentralen för att därefter distribueras i flexibel plastkulvert direkt till abonnenterna. Värme som krävs för uppvärmning av fastigheterna överförs från varmvattnet till radiatorsystemen via värmeväxlare.

I systemets alla delar har låga temperaturer eftersträfvats. Framledningstemperaturen på distributionsnätet har begränsats till 90 °C med hänsyn till plaströrens egenskaper. Returledningstemperaturen har försökt hållas låg genom injustering av fastigheternas radiatorsystem enligt lågflödesprincipen.

Fastbränslecentralen utformades därför också för eldning av billiga bränslen med upp till 60% fukthalt (exempelvis bark) och försågs med en rökgaskylare för att utnyttja kondensationsvärmets i de fuktiga rökgaserna. Med rökgaskondensering minskas också utsläppen av stoft, kväveoxider och svaveloxider jämfört med en konventionell fastbränslepanna.

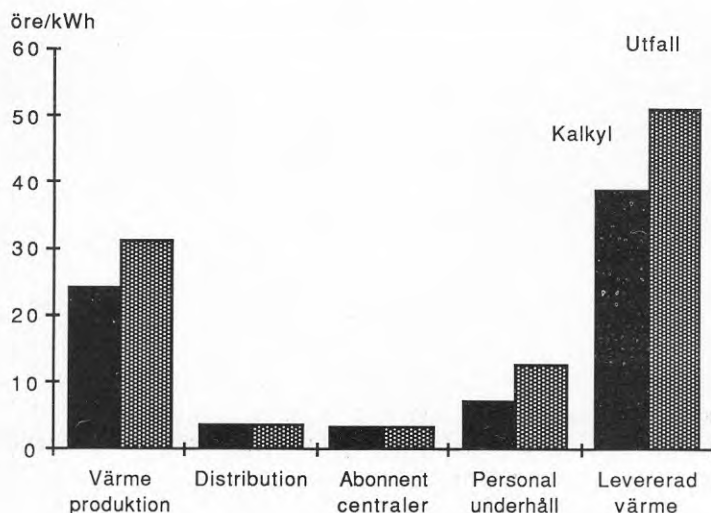
Hammarstrand var det första projekt i vilket ett distributionssystem med helplastkulvert enligt GRUDIS princip byggdes i full skala. En viktig målsättning var att undersöka om förväntade kostnadsbesparingar vid kulvertinstallationen genom snabbare och flexiblereläggning, mindre schaktvolym, mindre antal skarvar etc kunde realiseras i praktiken.

Resultatet i detta avseende är positivt. Under läggningsarbetet med kulverten påvisades en del brister vad avsåg enskilda komponenters utförande och funktionalitet. Man kunde trots detta konstatera att teknik och kostnader för den flexibla kulverten i stort motsvarade förväntningarna, medan den typ av

hålrörskulvert som användes i Hammarstrand inte kan anses ekonomiskt konkurrenskraftig. De samlade erfarenheterna från Hammarstrand har också kunnat nyttiggöras för att förbättra och förbilliga systemet.

Hammarstrandsprojektet blev däremot vad avser de relativt "konventionella" delarna, dvs eldning av bark med fukthalt kring 60%, liksom inregleringen av fastigheternas värmesystem för att åstadkomma låga returtemperaturer på värmedistributionsnätet ur såväl teknisk som ekonomisk synpunkt mindre lyckat.

Fastbränsleanläggningens tillgänglighet och effekt har inte under utvärderingsperioden uppnått förväntade värden. Bark med lämplig fukthalt har inte kunnat erhållas under en stor del av eldningssäsongen, priset har desutom varit ca 50% högre än kalkylerat. Kostnaden för bränsleflis låg under utvärderingsperioden i paritet med oljepriset räknat per energiinnehåll. Detta sammantaget har lett till att bränslekostnaderna för anläggningen ökat från kalkylerade 12 öre/kWh till 18 öre/kWh.



Figur 1
Kostnad för levererad värme i Hammarstrand

För att ekonomin på sikt skall kunna bli acceptabel i Hammarstrand med befintlig anläggning krävs 1) fastbränsle till ett mer konkurrenskraftigt pris, 2) förbättrad tillgänglighet (såväl drifttids- som effektmässigt) av fastbränslepanna och rökgaskylare, 3) förbättrad konkurrenskraft i jämförelse med alternativ värmeproduktion (exempelvis till följd av ökade oljepriser).

Kostnadsskillnader som kan hänföras till val av distributionssystem (GRUDIS-system alternativt konventionellt fjärrvärmesystem) påverkar endast marginellt totalkostnaden i Hammarstrandsfallet. Det finns därför ingen anledning att låta det totala ekonomiska utfallet i Hammarstrand påverka en fortsatt satsning på kostnadseffektiv värmedistributionsteknik. För att få acceptans på marknaden måste dock framtida GRUDIS-system baseras på en konkurrenskraftig och fungerande värmeproduktionsteknik.

Den merkostnad som det innebär att installera en rökgaskylare i en fastbränslecentral torde också kunna motiveras. Rökgaskylaren kan dock inte förväntas nämnvärt förändra fastbränslecentralens konkurrenskraft gentemot andra uppvärmningsslag. De oväntade svårigheterna dels att få tillgång till bark med acceptabel fukthalt dels att klara av förbränningen i en mindre anläggning bör uppmärksammas.

1. Bakgrund

Syftet med projektet i Hammarstrand har varit att demonstrera ett system för central värmeförsörjning som skulle kunna bli konkurrenskraftigt även i mindre orter, där låg värmetäthet gör att konventionell fjärrvärme inte är lönsam.

I den förstudie som finansierades av Statens råd för byggnadsforskning (Gunnarsson, 1985) redovisas ett antal alternativ som innebär utnyttjande av inhemska fasta bränslen. Av de studerade alternativen förordas ett system med kondensering av rökgaser och där fastigheternas värmesystem ansluts direkt till värmedistributionsnätet.

Förslaget modifierades under våren 1985 så att det skulle bli möjligt att använda den då nyutvecklade GRUDIS-tekniken med flexibel helplastkulvert och tappvarmvatten som värmebärare i systemet. Stöd i form av experimentbyggnadslån för projektets GRUDIS-del (rökgaskylare, distributionssystem och abonnentcentraler) beviljades av Statens råd för byggnadsforskning vid uppförandet av Hammarstrandsanläggningen.

Anläggningen upphandlades på totalentreprenad från Calor Celsius AB, och uppfördes i ursprungligt skick under hösten 1985.

Entreprenaden omfattade:

- Värmecentral med 1MW fastbränslepanna, 1,5 MW oljepanna för spetslast, 0,25 MW rökgaskylare samt 10 m³ ackumulator för att erhålla en jämn värmning av tappvarmvattnet trots variationer i flödet över dygnet.
- GRUDIS distributionssystem 90/50 °C med två typer av helplastkulvert: hålrörskulvert i större dimensioner och prefabricerad böjbar en- och tvårörskulvert i de mindre dimensionerna.

- Prefabricerade abonnentcentraler med direktanslutning av tappvarmvattnet och värmeväxling mot radiatorsystemet samt inreglering av fastigheternas värmesystem enligt lågflödesprincipen för att erhålla 40 °C returtemperatur på distributionsnätet vid dimensionerande utetemperatur.

Antal anslutna fastigheter var ca 20 och kulvertsystemets totala längd ca 2,300 m.

Den anläggning som stod färdig i början av 1986 uppvisade dock omfattande tekniska brister. Detta gällde dels fastbränslepannans funktion vid eldning av fuktiga bränslen, dels inregleringen av fastigheterna för att uppnå specificerat temperaturfall på distributionsnätet. Trots ansträngningar från entreprenörens sida att avhjälpa bristerna kvarstod dessa i huvudsak i mars 1987, då delar av värmecentralen förstördes vid en brand.

I samband med återuppbyggnaden efter branden beslöts därför att fastbränslepannan skulle byggas om för att bättre klara eldning med föreskrivna bränslekvaliteter (bark med en fukthalt på 60%). Dessutom flyttades ackumulatorn i värmecentralen så att dess värmelagringskapacitet kunde utnyttjas för att motverka temperaturfluktuationer på framledningen till följd av tröghet i fastbränslepannans reglering. Problemet med fastigheternas dåliga inreglering, som lett till kapacitetsbrist på distributionsnätet, hade under tiden fått lösas hjälpligt med en tryckstegringspump. Den modifierade anläggningen övertogs efter slutförd provdrift av Ragunda Energi AB i januari 1988.

Syftet med föreliggande utvärderingsprojekt har varit att 1) följa upp ekonomin i Hammarstrandsprojektet och redovisa erfarenheter vad avser såväl anläggningsfasen som driften av anläggningen, 2) med hjälp av ett mätprogram följa upp funktionen hos abonnentcentraler, distributionsnät och värmecentral vad avser temperaturförhållanden, kapacitet och tillgänglighet.

Eftersom någon störningsfri drift av anläggningen (med fastbränslepanna och rökgaskylare inkopplade) inte kunde upprätthållas före ombyggnaden har mätperioden

för utvärderingen förskjutits till 1988-02--04.
Föreliggande utvärderingsrapport behandlar därför
erfarenheterna från anläggningen i ombyggt skick.

2. Systemets utformning i stort.

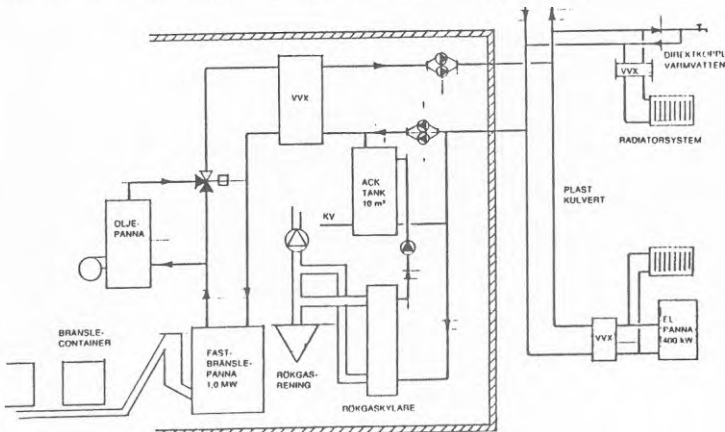
2.1 Systemprinciper.

Det centrala värmedistributionssystemet i Hammarstrand omfattar 20 abonnenter med ett sammanlagt värmebehov på drygt 2 MW. Värmeproduktionen sker i en fastbränsleeldad anläggning med rökgaskylare.

Distributionssystemet är utformat enligt GRUDIS-principen med central beredning av tappvarmvattnet, som också utnyttjas som värmebärande medium i systemet. Detta för att helplastkulvert dvs med mediarör av plast skall kunna användas i nätet. Valet av mediarör i plast (PEX) har två konsekvenser:

- 1) Framledningstemperaturen i distributionsnätet bör begränsas till 90 °C vid 6 bars tryck för att garantera lång livslängd hos plaströren.
- 2) Syrediffusion kommer att ske till varmvattnet genom rörväggarna

Abbonentcentralerna, som i princip kan utformas med endast en värmeväxlare, bör ha denna mellan distributionssystem och fastighetens radiatorkrets - detta för att undvika korrosion i radiatorsystemen. En skiss av det valda systemet visas i figur 2.1



Figur 2.1
GRUDIS-system i Hammarstrand - systemskiss.

Systemutformningen har inriktats på att även hålla returledningstemperaturen på en så låg nivå som möjligt dels för att få en acceptabel kapacitet på distributionsnätet och dels för att värmeproduktionen (i detta fall fastbränsleeldning med rökgaskylning) skall kunna ske med hög verkningsgrad. Kallvatten som ju tillförs i värmecentralen bidrar till att hålla temperaturnivån låg.

På abonnentcentralsidan har föreskrivits injustering enligt lågflödesprincipen för att returtemperaturen skall bli så låg som möjligt.

Värmeproduktionen sker i en fastbränsleläggningen utrustad med rökgaskylare. Tre faktorer i systemlösningen talar för rökgaskylningen:

- 1) De låga returtemperaturerna i systemet, 50 °C vid dimensionerande utetemperatur, vilket kan jämföras med 70 °C i ett konventionellt fjärrvärmesystem.
- 2) Den centrala tappvarmvattenproduktionen, som medför att huvuddelen av flödet tillförs i värmecentralen som kallvatten. Sammantaget med ackumulatorn medför detta att rökgaskylaren i bästa fall kan utnyttja kylvatten av ca. 30°C under en stor del av driftsäsongen.
- 3) Man får ett bättre bränsleutnyttjande vid höga fukthalter. Dessutom är bränslen såsom bark (60% fukthalt) ett betydligt billigare bränsle än huggen bränsleflis, varför bränslekostnad minskar.

2.2 Uppnådda resultat

Den systemutformning som valts i Hammarstrand kräver för god funktion en samverkan av alla de ovan beskrivna åtgärderna. Trots att anläggningen upphandlades som en totalentreprenad har dessa förväntningar inte kunnat infrias.

För en fullgod funktion hos distributionssystemet förutsattes en temperaturdifferens på 40 °C. Resultaten från utvärderingen visar att man endast uppnått en

temperaturdifferens på ca 30°C. Därmed krävs att flödet genom distributionssystemet ökas med 33% (utöver dimensioneringen) för att full effekt skall kunna levereras. En installation av tryckstegringspump på nätet blev därför nödvändig.

På produktionssidan var avsikten att elda fuktiga bränslen av låg kvalitet (dvs bark med hög fukthalt) med känd och befintlig teknik. Detta kunde dock ske först efter ombyggnad av pannan, genom att tillåten fukthalt begränsades från 65% till 60%, samt med avsevärda manuella insatser från driftpersonalens sida.

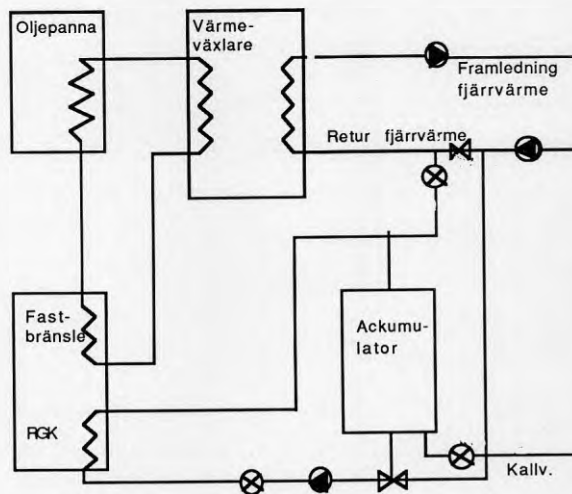
De fördelar till följd av den i Hammarstrand valda systemutformningen som eftersträvades har således endast i begränsad omfattning kunnat realiseras. Totalekonomin i systemet blir därför svag, detta dock utan att GRUDIS-tekniken bör lastas för detta.

3 Anläggningsutformning och investeringar

3.1 Värmecentralen

3.1.1 Anläggningsutformning

Den principiella utformningen av värmecentralen i ursprungligt skick, dvs vid idrifttagningen 1986, framgår av figur 3.1.

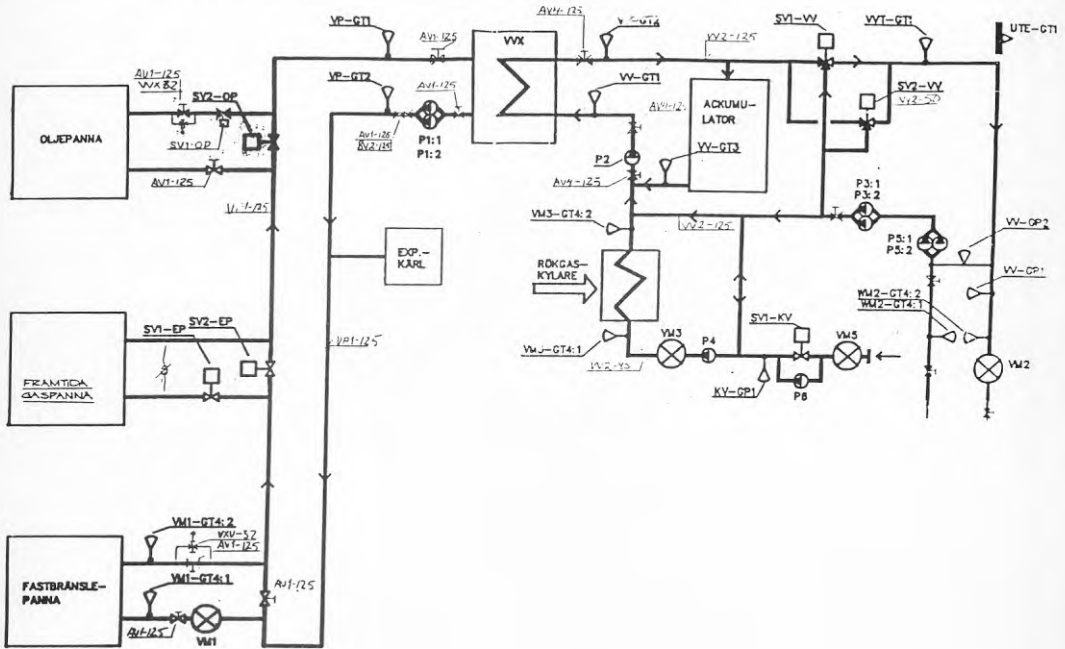


Figur 3.1
Värmecentralen - principiell koppling före ombyggnaden

Pannkretsen, som innehåller en fastbränslepanna (1 MW) och en oljepanna (1,5 MW) för spetslast är skild från varmvattenkretsen med en värmeväxlare. Varmvattenkretsen är utförd i korrosionsbeständiga material, eftersom det vatten som distribueras i nätet är syrehaltigt.

Akkumulatorn hade i den ursprungliga kopplingen som funktion att lagra kallvatten, när tappvarmvattenförbrukningen är som störst på dygnet, så att rökgaskylaren hela tiden får arbeta med lägsta möjliga inloppstemperatur.

I samband med ombyggnaden av värmecentralen 1987 modifierades systemutformningen. Bl a flyttades ackumulatortill varmvattenkretsens heta sida, för att garantera en stabilare temperaturreglering. Den modifierade kopplingen framgår av figur 3.2.



Figur 3.2

Värmecentral - principiell koppling efter ombyggnaden

Fastbränslepanna, bränslelager och hanteringssystem är dimensionerade för att förutom normala fastbränslekvaliteter som bränsleflis och maskintorv även medge eldning av billigt sågverksavfall såsom riven bark och sågspån med fukthalt upp till 60% (65% angivet före ombyggnaden, vilket dock ej kunde klaras).

Fastbränslepannan är dimensionerad för ge en effekt av 1 MW utan rökgaskylare. Förbränningen sker i en murad förugn med rörlig rost av typ Kablitz (fabrikat Saxlund). Rosten är uppdelad på fem rörliga segment. Rosterytan är totalt 2,8 m² (2,4 m² före ombyggnaden). Primärluften förvärms i en luftförvärmare till 250 °C (150 °C före ombyggnaden) och fördelas i två sektionen under rosten. Sekundärluft tillförs genom förugns sidoväggar över bränslebädden. Med hjälp av rostens rörelser matas bränslebädden fram och den slutliga askan och eventuella slagen

faller ner ett schakt under rosten. Askan transporteras till en askcontainer.

Konvektionsdelen består av en varmvattenpanna (fabrikat OSBY) med vertikala tuber som är placerad ovanpå förugnen.

Bränslelagret består av fyra självutmatande containrar (fabrikat Stadigh), vilka även används för transport av bränslet till värmecentralen. Utmatning från containern sker från botten med hjälp av stokermatare. För att förhindra att bränslen som bark hänger upp sig har stokerskenorna utrustats med piggar. När en container tömts kopplas automatiskt nästa in för utmatning. Containrarna finns inrymda i en lagerlokal i anslutning till pannrummet. För att förhindra fastfrysning av bränslet hålls lokalen uppvärmd, vilket bl.a. sker med varm ventilationsluft från pannrummet. Vidare transport av bränslet sker med en skraptransportör till pannstupet.

En oljepanna och en nyinsatt gasolpanna kopplas in om fastbränslepannans effekt är otillräcklig för att hålla önskad temperatur i pannkretsen.

Varmvattencirkulationen genom pannorna sker i ett separat system med värmeväxling mot distributionssystemet för att undvika korrosion i pannkretsen.

Rökgaserna som lämnar fastbränslepannan renas först från stoft i en multicyklon. Efter att ha förvärmats den primära förbränningsluften, kyls de sedan ned i rökgaskylaren. Vid fullast skall ca 250 kW värmeeffekt kunna tas ut från kylaren.

Rökgaskylaren är en vertikal tubkylare. Rökgasen tas in upptill och passerar nedåt i kylaren inuti tuberna. Kylvattnet som är en blandning av kallvatten och returvatten från distributionsnätet leds i motström nedifrån och uppåt utanför tuberna.

Enligt den ursprungliga kopplingen lagrades kallvatten i en ackumulator om flödet var stort. Vatten som värmts till 65°C i rökgaskylaren tillfördes returledningen eller användes vid små kallvattenflöden för att ladda upp ackumulatoren. När returledningstemperaturen var lägre än temperaturen i botten av ackumulatoren leddes i stället returledningssvatten till rökgaskylaren.

Kondensatet som även innehåller en del stoft sedimenteras i en behållare. Kondensatvattnet PH-justeras innan det släpps

ut i en golvbrunn. För att rena tubbytorna från stoft spolas dessa med recirkulerat kondensvatten. Rökgasen leds via en rökgasfläkt ut till skorstenen. Såväl rökgaskylare som efterföljande rökaskanaler och skorsten är byggda i rostfritt material.

I den värmeväxlare, som är kopplat mot pannkretsen, värms varmvattnet ytterligare för att därefter shuntas med returvattnet till erforderlig framledningstemperatur. Anläggningen måste således producera energi för att höja temperaturen på såväl kallvattnet som returvattnet till önskad framledningstemperatur.

Värmeväxlare och ledningar större än anslutning 80 är av syrafast stål. Övriga ledningar är av koppar.

3.1.2 Teknisk jämförelse med en konventionell fliseldad anläggning

Hammarstrandsanläggningen är utformad för att hantera och elda ett fuktigt bränsle, såsom bark. I jämförelse med en anläggning för huggen bränsleflis krävs för att klara detta:

- 1) En robustare bränsleutmatning från container och kraftigare matningsutrustning till pannstupet.
- 2) Rörlig rost för att klara bränslets högre ask- och föroreningshalt. Kraftigare dimensionerade ask- och slaggsrapor. För huggen bränsle flis kan en stationär snedrost användas.
- 3) Högre bränslefukthalt kräver större förbränningsutrymme dvs större ugn, panna och en större rost eftersom rostbelastningen sjunker med ökat fukthalt, och dessutom luftförvärmare om bränslets fukthalt överstiger 55%. Luftförvärmare krävs inte i den konventionella anläggningen.

GRUDIS-systemets speciella teknik, som bl a innebär att syrehaltigt tappvarmvatten produceras centralt i värmecentralen, gör att alla komponenter på distributionssidan i värmecentralen måste utföras i syrafasta material.

Värmecentralen är dessutom försedd med rökgaskylare och en ackumulatur (ursprungligen tänkt för att utjämna variationerna i tappvarmvattenflöde), vilket inte förutsatts för de konventionella fastbränsleanläggningen.

3.1.3 Ekonomisk jämförelse med konventionell fliseldad anläggning

Investeringskostnaden för en GRUDIS-värmecentral bedöms vara ca 50% högre än för en konventionell anläggning, detta baserat på följande antaganden:

Tillkommande komponenter i systemet är rökgaskylare, luftförvärmare och ackumulator. Tillsammans svarar dessa för en merkostnad på ca. 14%.

GRUDIS-kopplingen medför följande kostnadsökningar: Anläggningens distributionskrets måste utföras i rostfritt material. För VVS-systemet tillkommer bl a kopplingskretsar till rökgaskylare och ackumulator. Rök-gassidan dvs rök-gaskanaler och skorsten byggs av korrosionsbeständigt material. Sammantaget medför detta en merkostnad på 8%.

Förbränningsanläggningen är dimensionerad för att klara mer förorenat och heterogent bränsle som bark vilket kräver rörlig rost och robustare transportörer. Merkostnad 11 %.

Utrymmesbehovet öker. Byggkostnaden bidrar till en ökning av den totala kostnaden med 6 %.

Genom anläggningens komplexitet tillkommer ökade kostnader för projektering i el och regler med 9 %.

Totala merkostnaden enligt denna kalkyl således 48%.

Tabell 3.1
Kostnadsjämförelse GRUDIS/Konventionell fliseldad
anläggning.

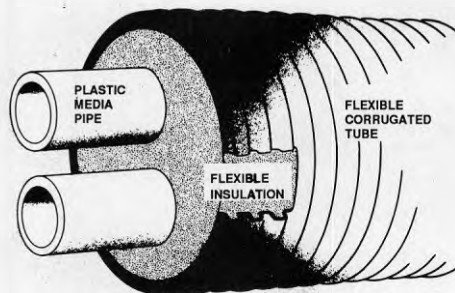
	Konventionell 1 MW flis		GRUDIS		
	Mkr	%	Mkr	%	
Projektering	0,25	6	0,40	10	
Bygg	0,8	20	1,0	25	Byggnads AB
Mark	0,2	5	0,25	6	
Panna, cyklon, (luftför- värmare), bränsle transportörer	1,15	25	1,7	40	Saxlund
Container (lager) 4 st	0,3	8	0,3	8	Stadigh
Rökgaskylare	-	-	0,35	9	
Skorsten, rökgasfläkt, rökgaskanaler	0,30	8	0,35	9	
VVS	0,6	14	0,6	15	
VVS merkostnad inkl. ackumulator	-	-	0,35	9	
El	0,2	5	0,3	8	Dvårsätts El AB
Styr och regler	0,2	5	0,3	8	Inreg. AB
Summa	4,0	100	5,9	148	
	Mkr	%	Mkr	%	

3.2 Distributionssystem

Distributionssystemet i Hamarstrand består av två kulverttyper: dels en styv hålrörskulvert med två separata mediarör av plast (PEX), dels en flexibel prefabricerad kulvert med ett eller två mediarör i plast (PEX).

Hålrörskulverten, som utgör stamledningen, omfattar dimensionerna 75-110 mm. Den totala längden av hålrörskulverten är ca 850 m.

Den flexibla kulverten finns dels som ettrörskulvert (dvs ett mediarör i varje skyddsrör) i dimensionerna 50-63 mm, och som tvårörskulvert (dvs två mediarör med gemensamt skyddsrör) i dimensionerna 32-40 mm. Den totala längden av den flexibla kulverten är ca 1,250 m.



Figur 3.3

Flexibel GRUDIS-kulvert

Erfarenheter från anläggningsfasen:

En princip för GRUDIS-systemet är att schaktdimensionerna skall minskas avsevärt jämfört med vad som är praxis vid läggning av konventionell

stålrörskulvert. Detta sker genom att kulvertavsnitt färdigställs på markytan för att sedan sänkas ned i kulvertgraven, vilket kräver mindre utrymme än om arbetena skall ske i själva kulvertgraven.

Genom att plaströren är flexibla kan leverans ske på rulle (både för mediarören i fallet hålrörskulvert och för den kompletta flexibla kulverten). Avståndet mellan skarvarna behöver således inte anpassas till en viss konstant rörlängd utan kan väljas med hänsyn till avgreningarnas läge. Flexibiliteten innebär också förenklingar då hinder skall passeras.



Figur 3.4

Läggning av flexibel GRUDIS-kulvert

Dessa fördelar har också kunnat bekräftas vid anläggningsarbetena i Hammarstrand.

Hammarstrand var den första kompletta installationen av ett GRUDIS-system i full skala och den första möjligheten att studera alla de olika momenten i lägningsarbetet under verkliga arbetsplatsförhållanden. Likaså var kunskapen om olika komponenter, såväl kvalitetsmässigt vid praktiska leveransförhållanden, som

funktionsmässigt vid genomförandet av installationen ofullständig.

Ett flertal faktorer av denna typ kom också att påverka installationsarbetet. Komponenter levererades som inte uppfyllde givna specifikationer (bl.a. hålrör med felaktiga insatsrör, otäta kopplingar mm), och även i övrigt kunde leveransförseningar noteras. Dessa förseningar i kombination med en tidig tjäle gjorde att slutmontaget måste ske under mycket besvärliga vinterförhållanden. Arbetet slutfördes till stora delar av leverantören. Den totala mantidsinsatsen för installationsarbetet har därför inte kunnat redovisas, utan nedan genomförd kostnadsanalys bygger på "normaliserade" värden.

Erfarenheterna från Hammarstrand har dock i hög grad nyttiggjorts vid utformningen av nästa GRUDIS-system, det i Vedevåg. Till de komponenter som i Hammarstrand inte på ett rimligt sätt klarade vare sig tekniska eller ekonomiska krav hör flänskopplingarna av mässing för de grövre plastrördimensionerna.

Utnyttjandet av hålrörskulvert med sammanlimmade element kunde konstateras vara både problemfylld och kostsam. Limning av de 5 m långa hålrörselementen med PUR-härdlim (innan mediarören drogs in) medför alltför långa härdtider om den genomförs vid rådande utomhusklimat, och blev även i övrigt komplicerad.

Läggningen av den flexibla kulverten genomfördes på ett rationellt sätt, vilket bekräftar dess fördelar framför konventionell stålrörsteknik. Kulverten kunde till stor del kopplas, provtryckas och skarvas före själva läggningen, vilken sedan kunde ske i avpassade längder (upp till 150 m/längd). Därigenom kunde en stor del av det arbete som annars måste utföras i kulvertgraven undvikas, samtidigt som återfyllning av stora schaktavsnitt kunde ske utan dröjsmål.

Investeringskostnader

Målsättningen för GRUDIS-systemet är att kunna erbjuda kostnadsfördelar jämfört med ett konventionellt stålrörssystem framför allt genom enklare och snabbare installationsarbete. Detta har också kunnat demonstreras

i Hammarstrand, speciellt vad avser den flexibla kulverten.

Den totala investeringskostnaden för kulvert i olika dimensioner sammansätts av kostnader för markarbeten, material och installationsarbete. De kostnader som framkommit i utvärderingen vad avser markarbeten och installation är också mycket konkurrenskraftiga.

Materialkostnaden är däremot högre än kostnaden för ett motsvarande konventionellt system, och, framför allt i de större dimensionerna (hålörskulverten), extremt hög. Till en del kan detta nog hänföras till ett dåligt val i utformningen av vissa komponenter.

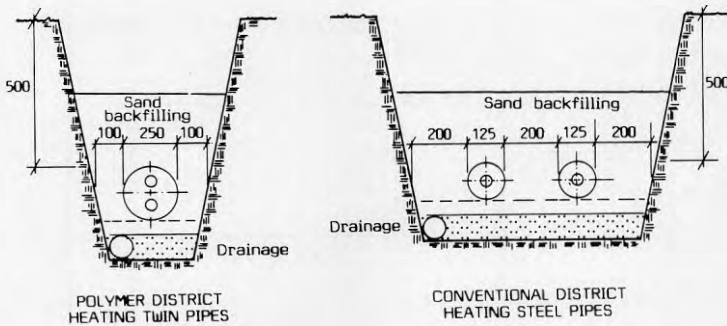
Det har inte varit möjligt att i utvärderingen göra någon bedömning av vilka produktionskostnader som kan förväntas vid ökande försäljningsvolymen eller i vilken mån leverantörens pris innefattar vissa utvecklingskostnader.

Följande kostnadssammanställning är endast avsedd som *jämförelse* mellan GRUDIS-systemet i Hammarstrand och ett konventionellt stålörssystem.

I jämförelsen har följande gemensamma schablonvärden använts vad avser markarbetena:

Utgrävning	50 kr/m ³
Ledningsbädd	150 kr/m ³
Dränering	50 kr/m
Skyddsfillning	133 kr/m ³
Återfillning	88 kr/m ³
Återställning av markyta	80 kr/m ²

I figur 3.5 visas skillnaden i kulvertgravens dimensioner mellan GRUDIS-kulvert och konventionell kulvert.



Figur 3.5

Exempel på tvärsektion av plastkulvert respektive konventionell kulvert

Material och installationskostnaderna baserar sig för GRUDIS-systemet i Hammarstrand på leverantörens offert. För det konventionella stålrörsalternativet har justerade efterkalkyler för ett mindre fjärrvärmesystem utnyttjats.

Tabellen 3.2: Genomsnittliga investeringskostnader (alla dimensioner) i kr/m kulvert (1985):

	GRUDIS-kulvert	Konventionell stålrörskulvert
Markarbeten	180	320
Material	580 (150-1220)	215 (140-320)
Installation	30	185
Totalt	790 kr/m	720 kr/m

Den högre genomsnittliga materialkostnaden för GRUDIS-kulverten hänför sig framför allt till de grövre dimensionerna med hålrörsutförande vilket fragår av följande:

Tabell 3.3: Materialkostnader fördelade på dimension i kr/m kulvert (1985).

Dimension	GRUDIS-kulvert	Konventionell stålrörskulvert
40 mm/DN 32	150	140
63 mm/DN 50	320	170
110 mm/DN 100	1220	320

GRUDIS-kulverten uppvisar således en gynnsam kostnadsbild i jämförelse med konventionell stålrörskulvert för de dimensioner där den flexibla kulverten kan utnyttjas.

I de grövre dimensionerna, med de kostnader som redovisats för hålrörsutförandet i Hanmmarstrand, saknas dock all konkurrenskraft, vilket också avsevärt drar ned den genomsnittliga kulvertkostnaden. Avsevärda förbättringar både vad avser teknik och kostnader kan dock redovisas för GRUDIS-anläggningen i Vedeå (Wallethun, 1989).

Kostnaden för värmetransporten från produktionscentral till abonnent i ett fjärrvärmesystem påverkas förutom av investeringskostnaden även av kulvertens överföringskapacitet och dess värmeförluster. Överföringskapaciteten är proportionell mot medierörets inre tvärsnittsarea, mot vattenhastigheten och mot den temperaturdifferens som upprätthålls mellan fram- och returledning i nätet. Samtliga dessa faktorer missgynnar i viss mån det konventionella stålrörsalternativet i ovanstående jämförelse. Värmeförlusterna bör dock med den lägre temperaturnivån i ett GRUDIS-system kunna hållas på en lägre nivå. Någon ingående analys av hur dessa faktorer påverkar ekonomin just i

Hammarstrandsfallet har inte genomförts, eftersom detta system till följd av framför allt den mindre lyckade inregleringen på abonnentsidan kom att avvika avsevärt från projekterade värden.

3.3 Abonnentcentraler

Abbonentcentralerna i Hammarstrand har utformats enligt den princip som gäller för GRUDIS-systemet, nämligen att utnyttja tappvarmvattnet som värmemedium även för uppvärmningssystemet. Det centralt producerade fjärrvärmevattnet, liksom alla komponenter det kommer i kontakt med, måste hålla tappvattenkvalitet. Anslutning av ett befintligt (konventionellt) radiatorsystemet måste därför ske med hjälp av en värmeväxlare i fastigheten. Detta är ju också, av andra skäl, fallet i ett konventionellt fjärrvärmesystem.

Däremot får fjärrvärmevattnet i Hammarstrand, efter inblandning av kallvatten till lämplig temperatur, gå direkt in på fastighetens tappvarmvattensystem. Därmed inbesparas den värmeväxlare, som i konventionella fjärrvärmesystem finns mellan fjärrvärmevattnet och tappvarmvattensystemet.

I flerbostadshus och större fastigheter konstrueras tappvarmvattensystemen med cirkulation, detta för att temperaturen inte skall sjunka under en acceptabel nivå under låglastperioder. Principen för abonnentcentralerna i Hammarstrand var att cirkulationsvattnet skulle återföras till fjärrvärmesystemets returledning.

Abbonentcentraler enligt denna princip prefabricerades i Hammarstrand av entreprenören Calor-Celsius. När systemet togs i drift visade det sig dock snabbt att regleringen av tappvarmvattensystemet inte kunnat lösas på ett tillfredsställande sätt. Bl a förekom backflöden av varmvatten in på kallvattensystemet. Abonnentcentralerna fick därför i efterhand modifieras på så sätt att återföringen av cirkulationsvattnet togs bort och ersattes av en mindre värmeväxlare.

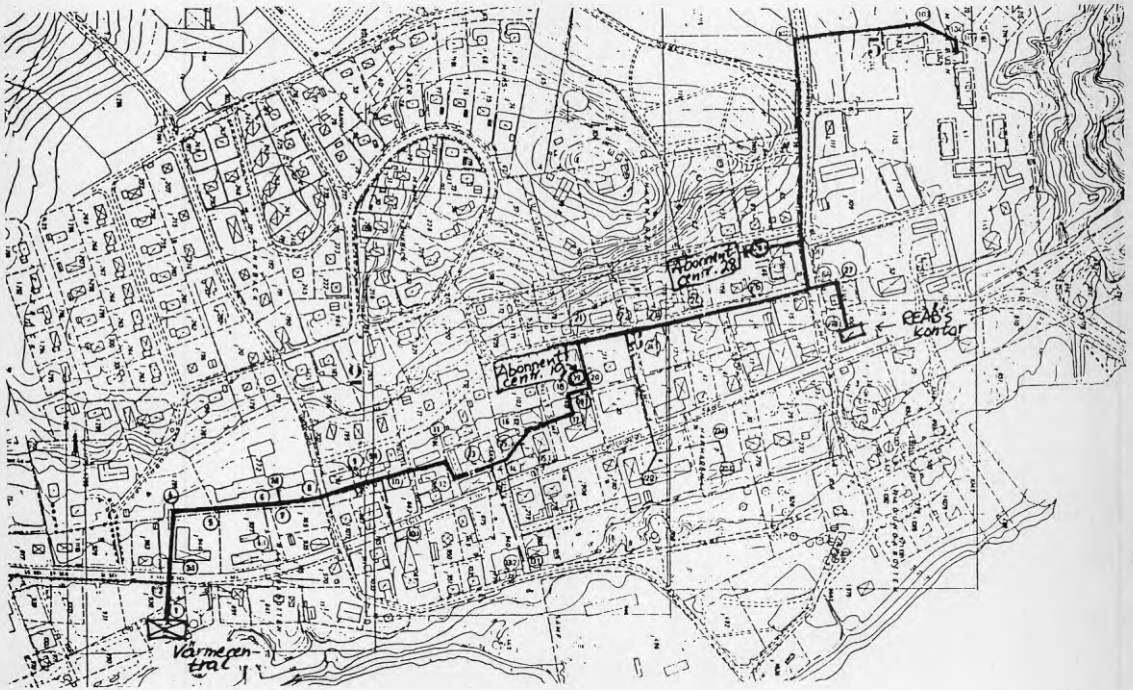
Modifieringen av abonnentcentralerna ledde också till att värmemängdsmätningen kunde förenklas. I det ursprungliga konceptet krävdes *tre* värmemängdsmätare för att på ett korrekt sätt redovisa abonnentens förbrukning. I det modifierade utförandet reducerades dessa till *två*, vilket trots allt är en mer än i ett konventionellt alternativ.

Abbonentcentralerna tillverkades, installerades och modifierades av entreprenören inom ramen för totalentreprenaden. Något underlag för en jämförande kalkyl mellan en abonnentcentral enligt den princip som slutligen valdes i Hammarstrand och en konventionell abonnentcentral finns inte. Om man beaktar behovet av den extra värmexlaren och en extra värmemängdsmätare måste det bedömas som tveksamt om kostnadsdifferensen blir till GRUDIS-systemets fördel, den torde under alla omständigheter vara marginell.

4. Mätresultat

Efter ombyggnad togs värmecentralen i Hammarstrand åter i drift i januari 1988. På grund av den långa tid som förflutit sedan projektstarten hösten 1985 beslöts att mätperioden skulle begränsas till den återstående delen av eldningssäsongen 1987/88. Insamling av grundmaterial skedde således månaderna februari - april 1988. Här presenterade data är i huvudsak hämtade från de två första veckorna i mars.

Insamlingen av mätdata skedde dels i värmecentralen, dels i två abonnentcentraler placerade i mitten och slutet av värmedistributionsnätet. Placeringen framgår av figur 4.1.



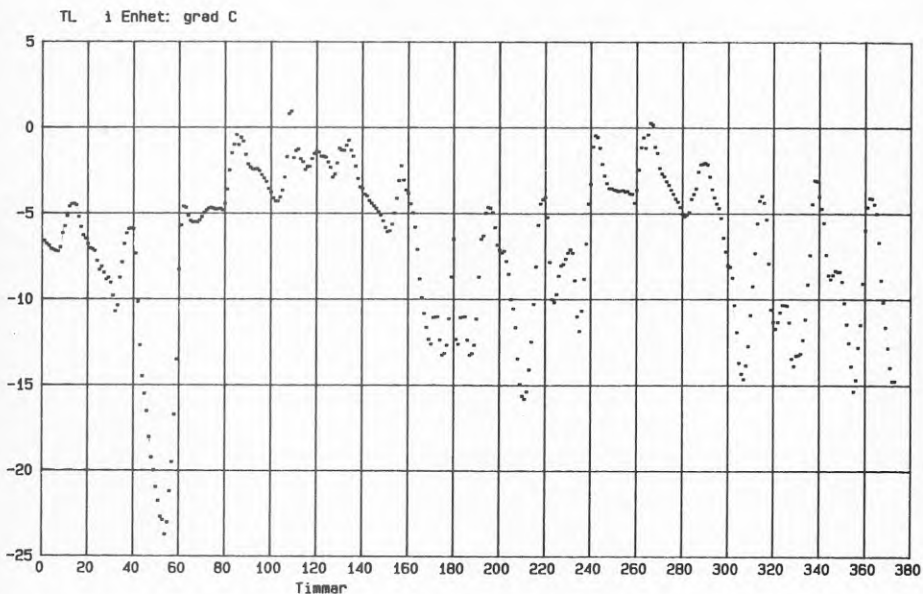
Figur 4.1
Lokalisering av mätobjekten

För mätdatainsamlingen utnyttjades ett system med tre stycken DIAB enkorts datorer, vilka hopkopplats i ett nätverk. Tömning av mätdata skedde genom

automatisk uppringning nattetid från en huvuddator IBM AT3 hos EnergiPlanerarna i Stockholm. Mätssystemet uppvisade en tillgänglighet på över 95% under projektperioden. Av mätgivarna kunde dock konstateras att de induktiva flödesmätarna av fabrikat Clorius under långa tider inte fungerade tillfredsställande. Mätningen av framför all fastbränslepannans effekt blev därför osäker.

4.1 Värmedistributionssystemet

Under den valda tvåveckorsperioden förekom utetemperaturer från -24°C till $+2^{\circ}\text{C}$. De lägsta utetemperaturerna hade dock kort varaktighet (vanligen en natt), vilket innebär att det uppmätta värmebehovet inte kan anses representera något fortvarighetstillstånd vid de lägsta temperaturerna. Utetemperaturens variation framgår av figur 4.2



Figur 4.2

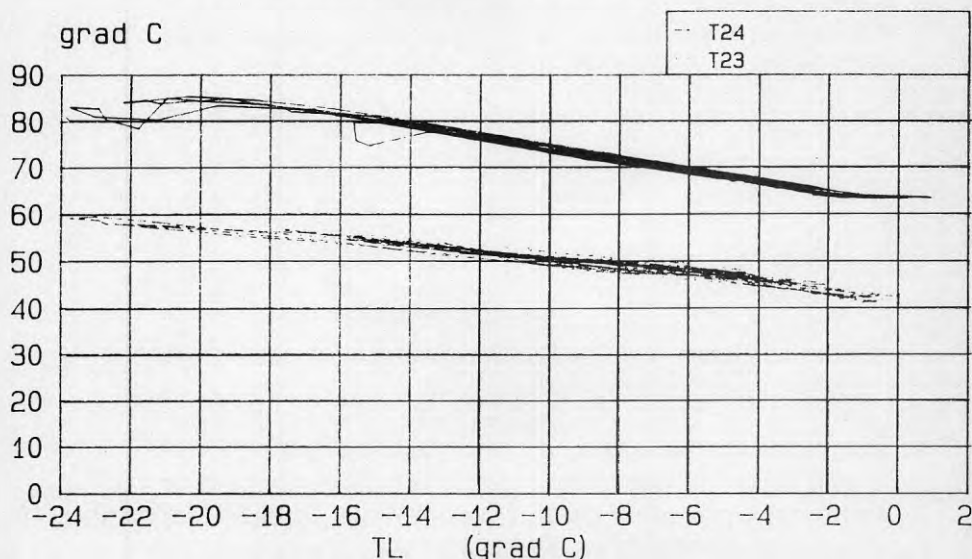
Uppmätt utetemperatur under perioden 880301--15

Temperaturerna på värmedistributionsnätet framgår av figur 4.3. Regleringen av framledningstemperaturen har

skett på avsett sätt. Detta är viktigt att konstatera eftersom det valda rörmaterialet (PEX) inte bör utsättas för temperaturer över 90 °C.

Returtemperaturen ökar dock vid minskande utetemperatur och den dimensionerande temperaturdifferensen 40 °C på värmedistributionsnätet kan inte upprätthållas, utan tycks stanna vid ca 30 °C. De höga returtemperaturerna torde bero dels på inregleringen av fastigheternas radiatorsystem, dels på otillräcklig värmeväxlayta i abonnentcentralerna. Detta diskuteras nedan. För att värmedistributionssystemet under dessa förhållanden skall kunna leverera den värmeeffekt som det dimensionerats för skulle flödet i nätet behöva ökas med 33%.

Detta problem uppmärksammades tidigt i projektet. Möjligheten att öka flödet i nätet försvårades dels av den (av kostnadsskäl) precisa dimensioneringen av rörnätet, dels av de tryckbegränsningar som gäller för rörmaterialet. Problemet kunde därför inte bemästras på annat sätt än att en tryckstegringspump måste installeras i nätet. Förutom en extrakostnad uppkom också problem med tryckfördelningen i nätet.



Figur 4.3

Fram- och returtemperaturer på värmedistributionsnätet

Det är väsentligt för ett värmedistributionsnät med en låg värmeförlust (räknat i värmeeffekt/kulvert m) att värmeförlusterna kan hållas på en acceptabel nivå. Några noggranna mätningar av värmeförlusterna i Hammarstrandsnätet har inte kunnat genomföras.

Utgående från temperaturerna i nätet på tre punkter, värmecentralen, abonnentcentral 19 och abonnentcentral 28, kan en skattning göras. Risker för inverkan av mätfel är dock stora. Dessutom har det förenklade antagandet måste göras beträffande returledningen att värmeförlusterna från denna är ungefär lika stora som värmeflödet in från framledningen. Skattningen får därför betraktas som mycket grov.

För värmetransporten till abonnent 19 (dvs ca 600m) är de skattade värmeförlusterna ungefär 5%, för värmetransporten till abonnent 28 (ca 1000m) ca 12%. För den längst bort belägna abonnenten i nätet torde värmeförlusterna uppgå till ca 20%. För nätet som helhet motsvarar detta en genomsnittlig värmeförlust av ca 7%. Dessa värden gäller den redovisade mätperioden med en medelutetemperatur av ca -5 °C och en genomsnittlig effekt på ca 1000 kW.

4.2 Värmecentralen

Driften av den efter branden delvis ombyggda värmecentralen övertogs av REAB 1988-01-22.

Förändringarna omfattade, förutom ombyggnaden av själva pannan för att bättre klara fuktiga bränslen, även den värmetekniska kopplingen på sekundärsidan i värmecentralen. Ackumulatorns funktion i den nya kopplingen är inte längre att ackumulera kallvatten vid störttappningar för att ge rökgaskylaren optimala temperaturförhållanden. Den har i stället genom ny placering fått funktionen att utgöra en buffert för att hålla framledningstemperaturen stabilt hög vid maximal belastning på värmedistributionsnätet, vilket inte klaras enbart med reglering av fastbränslepannan. Därmed

kommer eventuell kallvattentillförsel, som inte direkt kan tillföras rökgaskylarkretsen, att shuntas ut på returledningen.

Konsekvenserna av detta på utvärderingen är:

- 1) underlaget för att bedöma ackumulatorns effektivitet i den tänkta kopplingen, dvs blandningsskiktets temperaturprofil etc, bortfaller, liksom
- 2) underlaget för att bedöma ackumulatorns värde i samband med förbättrade prestanda för rökgaskylaren

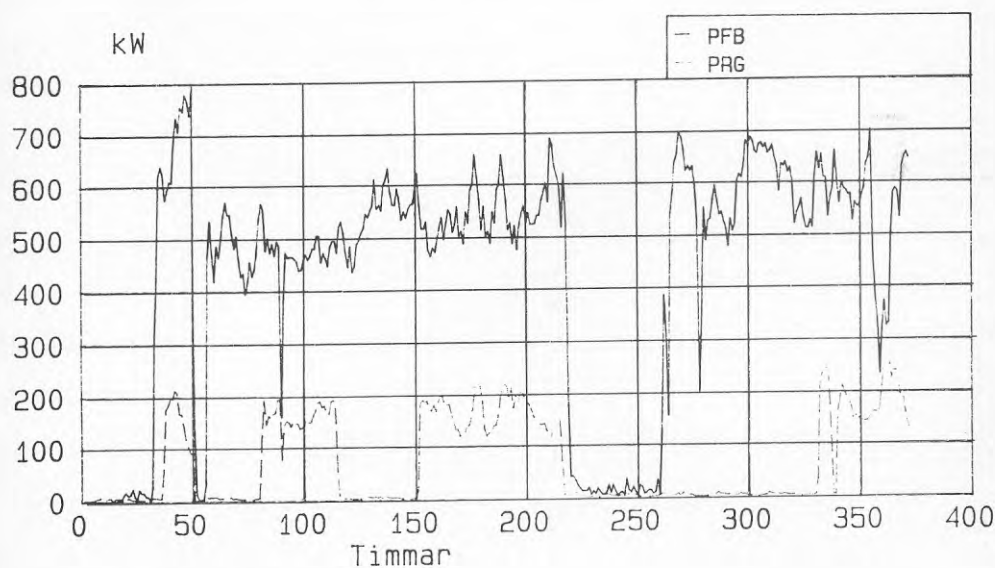
Fastbränslepannans funktion

De förändringar som gjordes på fastbränslepannan i samband med ombyggnaden var följande:

- byte av rökgasfläkt till större kapacitet
- höjning av primärlufttemperaturen från 150 till 250 oC
- ökning av rosterytan från 2,4 m² till 2,8 m²
- ombyggnad av askutmatningen

Målsättningen var att möjliggöra eldning av bränslen (framför allt bark) med en fukthalt upp till 60%. Detta var trots allt en sänkning av kraven jämfört med den ursprungliga upphandlingen, i vilken hade föreskrivits att eldning skulle kunna ske av bränslen med en fukthalt upp till 65%. Att uppnå det senare bedömdes dock som tekniskt omöjligt med bibehållande av befintlig pannkonstruktion.

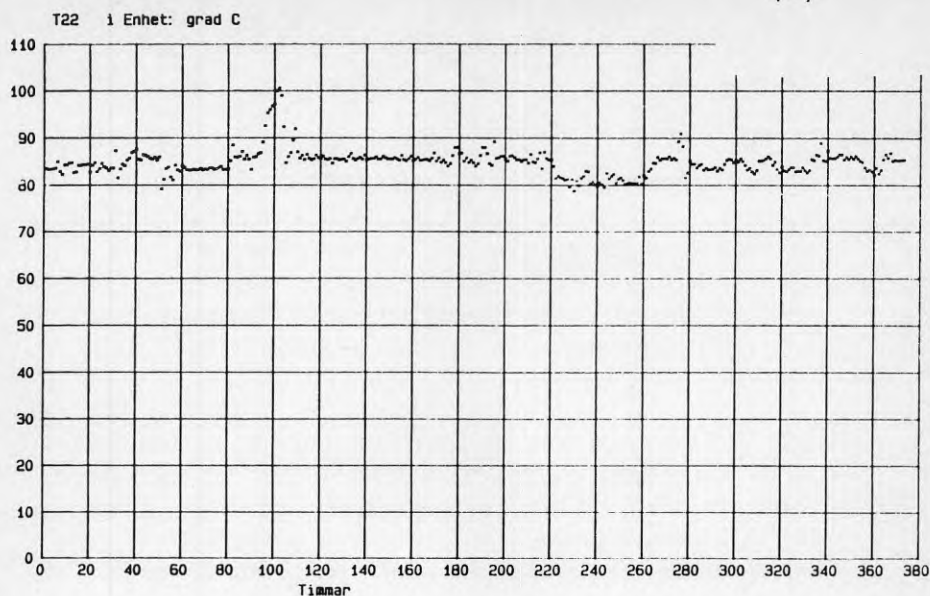
Av figur 4.4 framgår att framför allt tillgängligheten hos fastbränslepannan är låg.



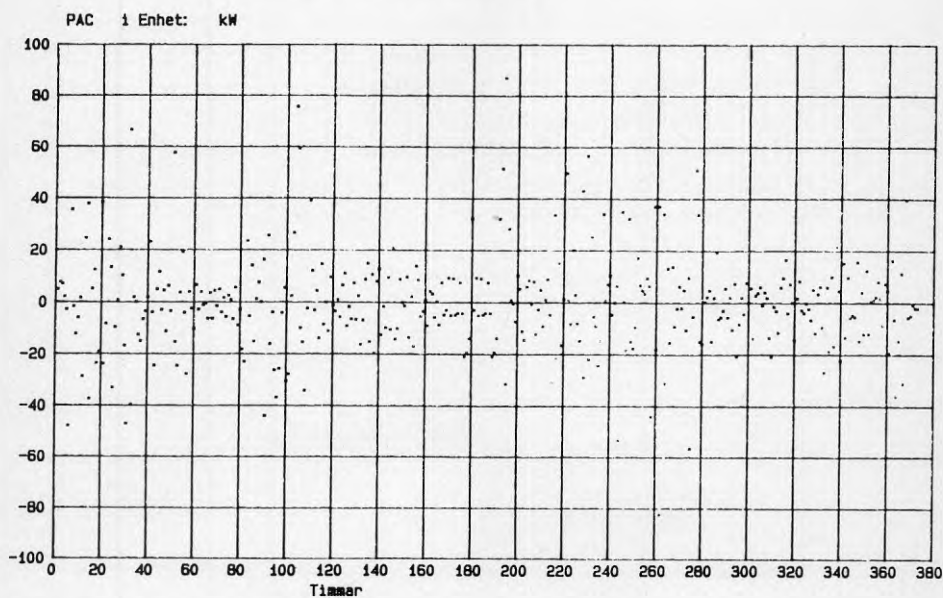
Figur 4.4
Effekt från fastbränslepannan

Akkumulatorns funktion

Akkumulatorns funktion i den ombyggda värmecentralen är att utgöra en buffert på pannkretsen och därmed minska kravet på snabb reglering av fastbränslepannan. Temperaturer och laddförlopp i ackumulatoren framgår av figurerna 4.5 och 4.6. Någon temperaturskiktning i ackumulatoren eftersträvas ej i den nya kopplingen, och en redovisning av temperaturkurvor på olika nivåer i ackumulatoren är därför inte av intresse.



Figur 4.5
Temperaturer i ackumulatorkretsen



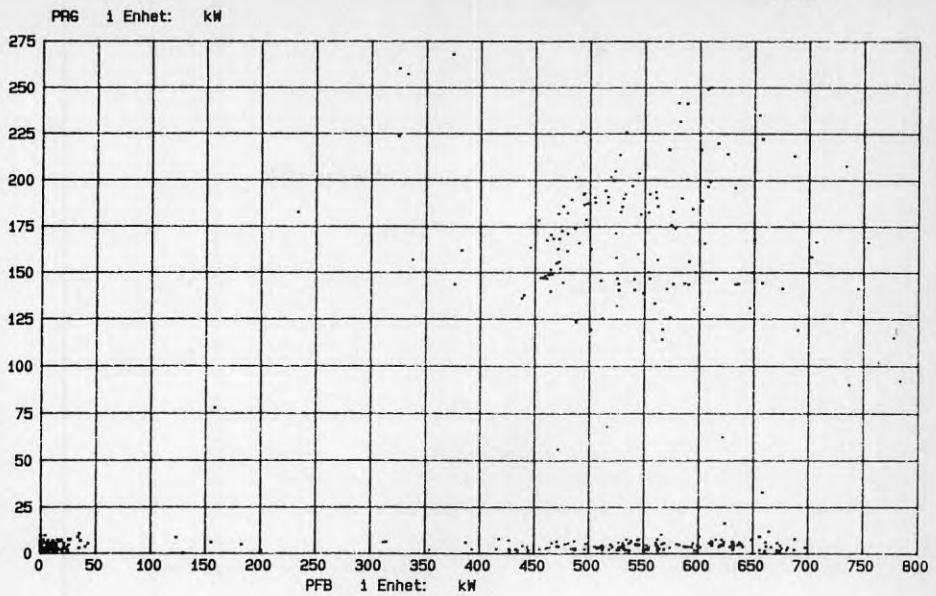
Figur 4.6
Effekter vid laddning respektive urladdning av
ackumulatorn

Rökgaskylarens funktion

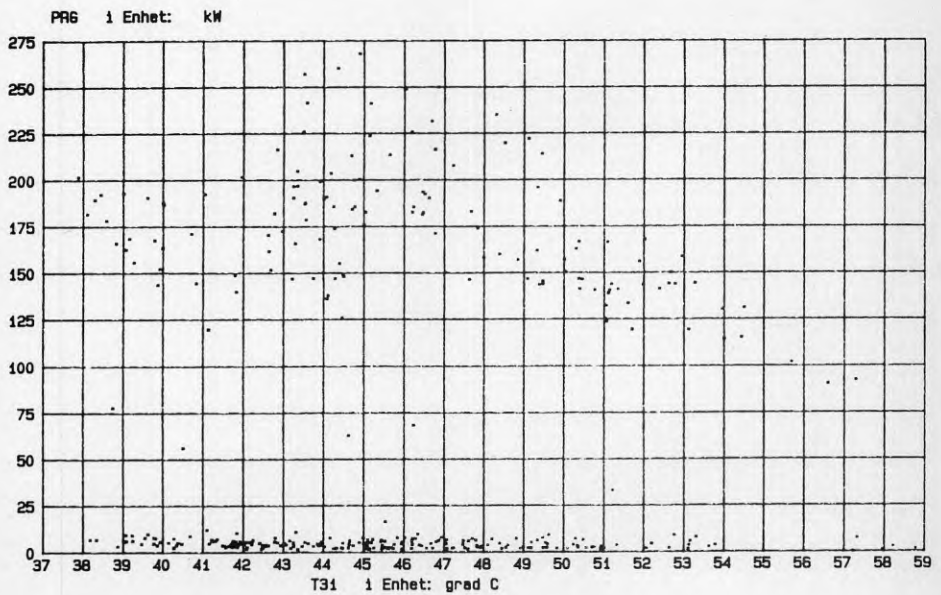
Värmeeffekten hos rökgaskylaren ökar ju längre ned i temperatur rökgaserna kan kylas, vilket medför att det använda bränslet utnyttjas effektivare. För en fastbränslecentral med rökgaskylare för eldning av fuktiga bränslen utgör således ett GRUDIS-system (med låg returtemperatur på värmedistributionsnätet) ett idealiskt komplement.

GRUDIS-systemet var dessutom ursprungligen utformat så att kallvatten som till stora delar tillförs centralt, dvs i värmecentralen, vid högt tappvattenflöde skulle kunna lagras i ackumulatorn. Därmed skulle rökgaskylaren hela tiden kunna arbeta med optimala temperaturer på inloppssidan (dvs så låga som möjligt).

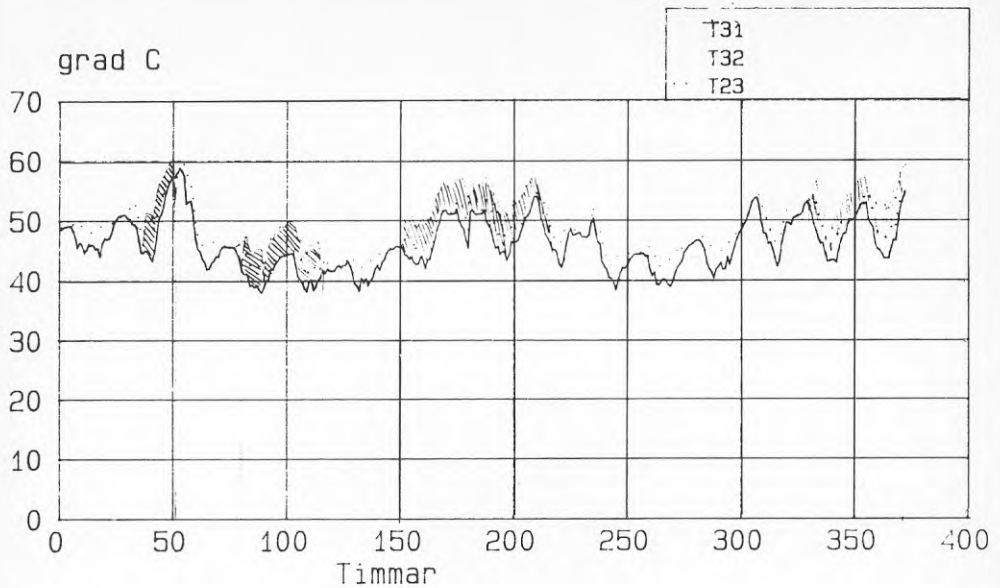
Utvärderingen visar för det första att tillgängligheten hos rökgaskylaren varit låg, detta huvudsakligen till följd av svårigheter att elda den fuktiga barken. För det andra kan konstateras att kallvattenflödet i snitt endast utgör ca 5% av det totala flöde som cirkuleras i rökgaskylarkretsen. Därmed blir det i huvudsak returtemperaturen på värmedistributionsnätet som styr inloppstemperaturen till rökgaskylaren. Uppmätta data för rökgaskylaren framgår av figurerna 4.7-4.9



Figur 4.7
Rökgaskylarens effekt som funktion av
fastbränslepannans effekt



Figur 4.8
Rökgaskylarens effekt som funktion av
inloppstemperaturen



Figur 4.9

Inloppstemperatur till rökgaskylaren som funktion av
kallvattenflöde

4.3 Abonnentcentralerna

Enligt upphandlingen skulle värmesystemen i anslutna fastigheter i Hammarstrand injusteras enligt lågflödesprincipen. Detta innebär att vattenflödet på radiatorsidan i fastigheten med hjälp av modifierade pumpar och med hjälp av termostatventiler på radiatorerna begränsas så att en så stor temperaturdifferens som möjligt erhålles mellan fram- och returledning. För att temperaturdifferensen skall kunna ökas krävs antingen att radiatorerna är överdimensionerade eller att framledningstemperaturen ökas i kombination med en förbättrad reglering.

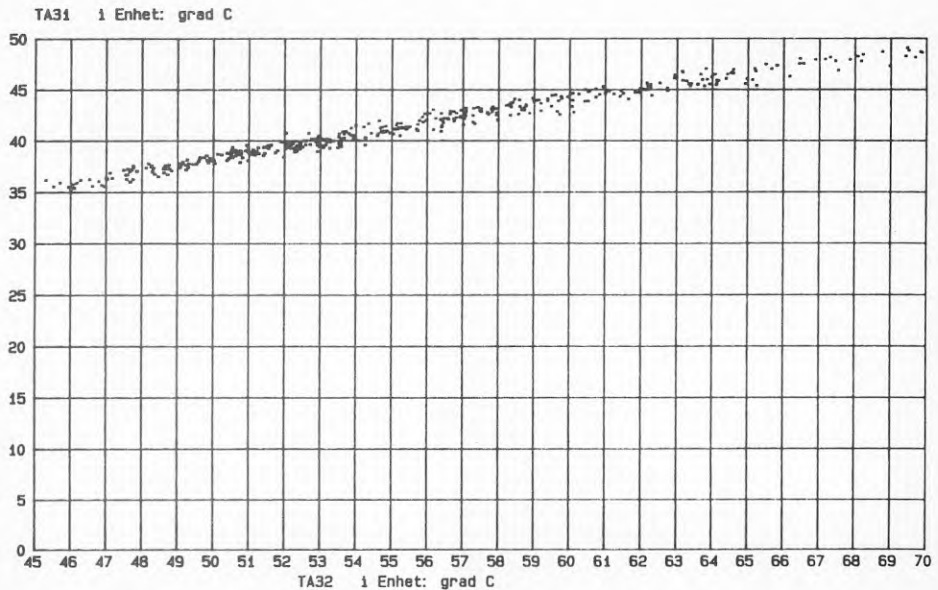
Har returtemperaturen från radiatorerna reducerats genom ovan angivna injustering krävs dessutom för att uppnå låga temperaturer på värmedistributionsnätets returledning att värmeväxlaren mellan värmedistributionsnätet och radiatorkretsen har tillräckligt stor yta.

Av utvärderingen framgår att målet att vid dimensionerande utetemperatur ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) då framledningstemperaturen är $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ begränsa returtemperaturen på värmedistributionsnätet till $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ inte kunnat uppnås.

För de två abonnentcentraler som studerats gäller följande:

Abonnentcentral 19

Resultatet av injusteringen av radiatorsystemet framgår av figur 4.10 som visar returtemperaturen som funktion av framledningstemperaturen till radiatorerna. Normalt strävar man vid en injustering enligt lågflödesprincipen att uppnå ett temperaturfall på $35\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ vid dimensionerande utetemperatur. Av diagrammet framgår att temperaturdifferensen under mätperioden är max $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Detta är givetvis ett otillfredsställande resultat. Orsaken till detta kan vara antingen en felaktigt utförd injustering, eller att radiatorerna inte har en sådan överdimensionering att flödet kan sänkas på önskvärt sätt.

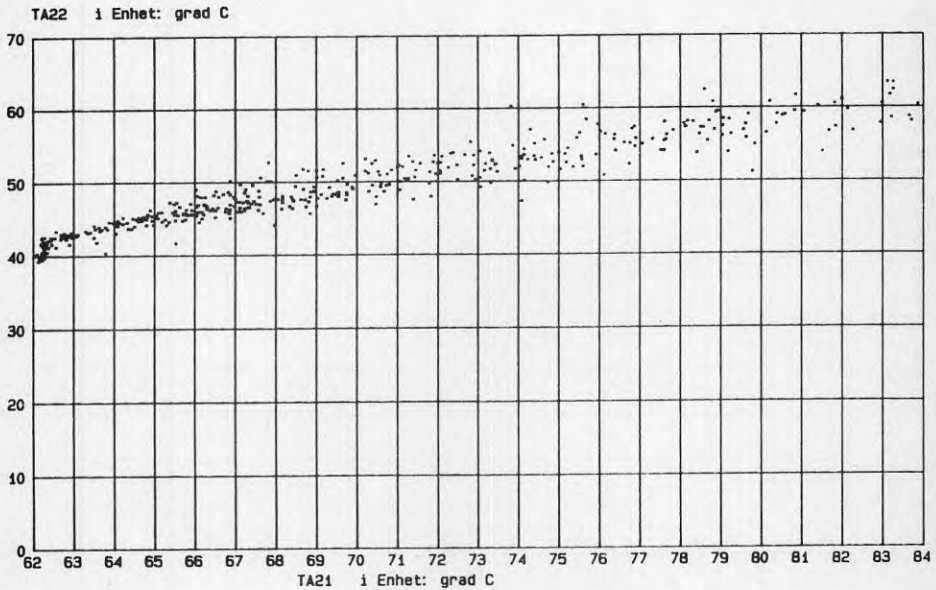


Figur 4.10

Returtemperaturen på radiatorsystemet som funktion av framledningstemperaturen (AC 19).

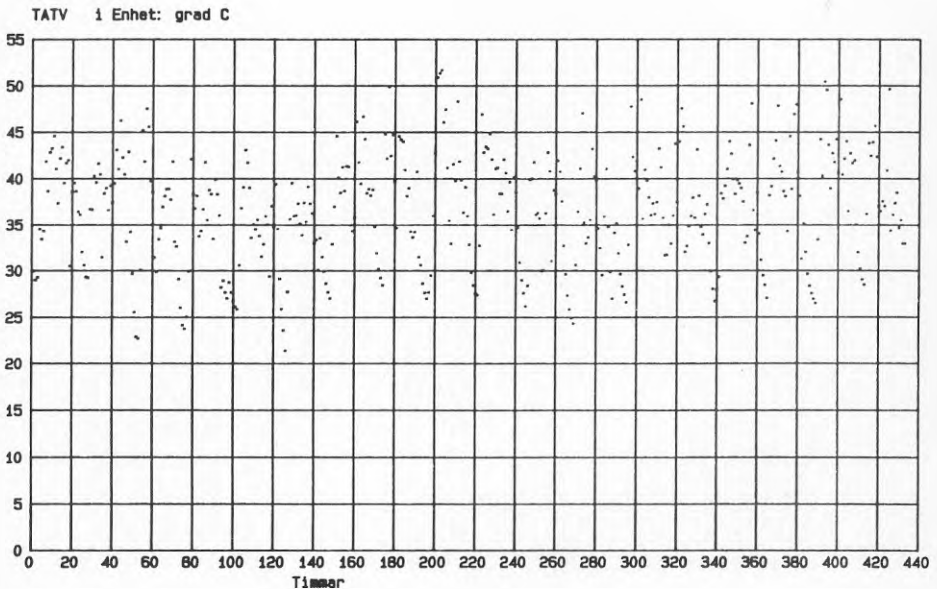
Temperaturförhållandena på abonnentcentralens primärsida, dvs fram- resp returtemperatur på värmedistributionsnätet framgår av figur 4.11. Returtemperaturen överstiger i vissa punkter tom 60 °C. Medeltemperaturdifferensen mellan primär- och sekundärsidan i värmeväxlaren är som högst ca 13 °C.

För att reducera denna temperaturdifferens hade en värmeväxlare med större yta varit motiverad, särskilt om man beaktar att radiatorsystemet inte kunnat inregleras till önskvärda temperaturer.



Figur 4.11
Returtemperatur som funktion av
framledningstemperatur på radiatorvärmväxlarens
primärsida (AC 19).

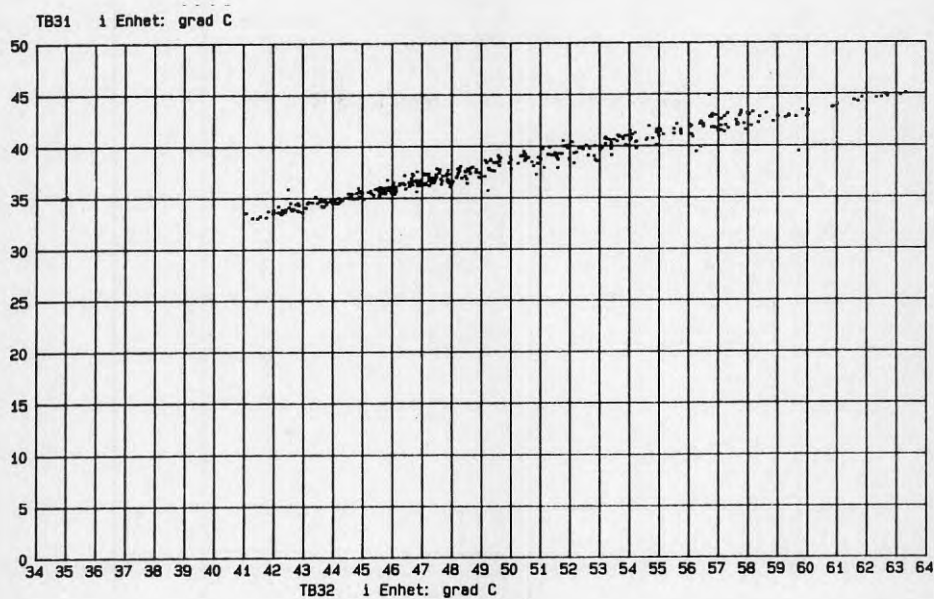
Regleringen av tappvarmvattentemperaturen till 55 °C kan inte heller anses acceptabel i denna fastighet, vilket framgår av figur 4.12.



Figur 4.12
Tappvarmvattentemperaturer (AC19).

Abonnentcentral 28

Resultatet av injusteringen av radiatorsystemet framgår av figur 4.13 som visar returtemperaturen som funktion av framledningstemperaturen till radiatorerna. Av diagrammet framgår att temperaturdifferensen under mätperioden även i denna abonnentcentral är max 20 °C. I detta fall är dock såväl framledningstemperatur som returtemperatur lägre (6 respektive 3 °C).



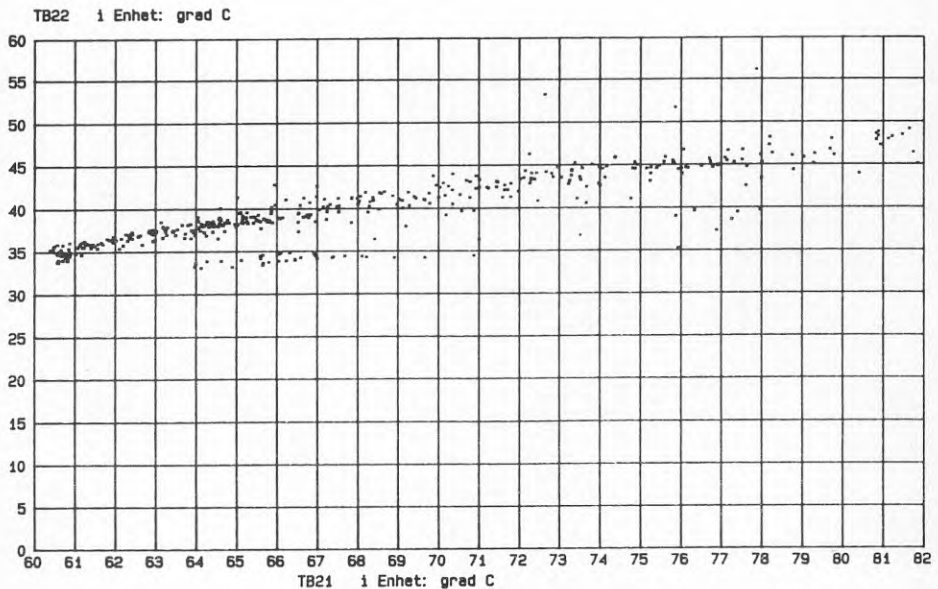
Figur 4.13

Returtemperaturen på radiatorsystemet som funktion av framledningstemperaturen (AC 28).

Temperaturförhållandena på abonnentcentralens primärsida framgår av figur 4.14. Returtemperaturen är här betydligt lägre, max ca 47 °C.

Medeltemperaturdifferensen i värmeväxlaren är här som högst ca 8 °C.

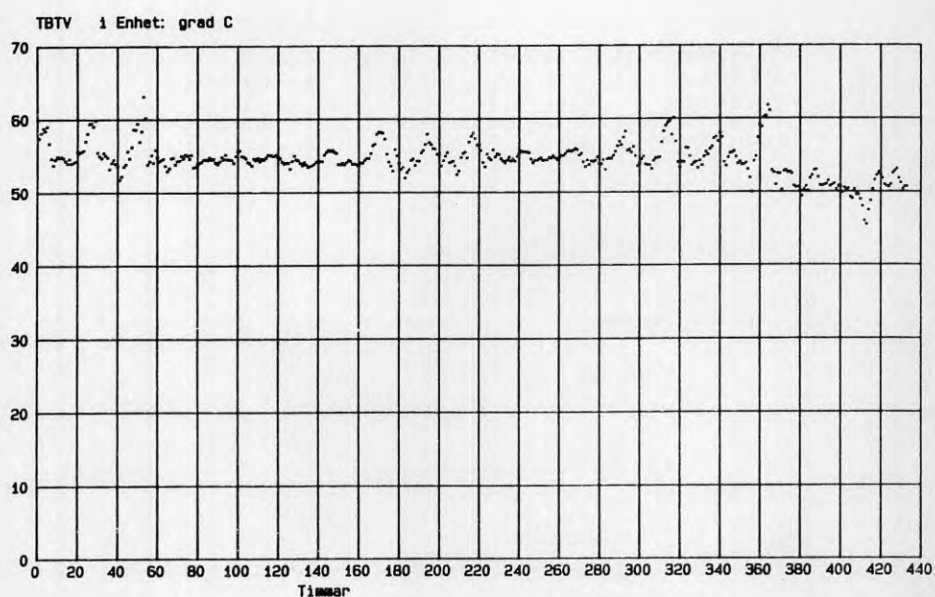
Värmeväxlarens kapacitet är här anpassad till behovet, och behöver inte ökas. En minskning av flödet i radiatorkretsen, med åtföljande lägre returtemperaturer, borde ha varit möjlig att genomföra.



Figur 4.14

Returtemperatur som funktion av
framledningstemperatur på radiatorvärmeväxlarens
primärsida (AC 28).

Regleringen av tappvarmvattentemperaturen till 55 °C är helt acceptabel i denna fastighet, vilket framgår av figur 4.15.



Figur 4.15
Tappvarmvattentemperaturer (AC28).

5 Ekonomi

5.1 Förväntat ekonomiskt utfall

I den systemstudie som föregick beslutet om att bygga Hamarstrandsanläggningen beräknades kostnaden för värme levererad till abonnent till 33 öre/kWh (1985). Detta bedömdes som acceptabelt med hänsyn till ett förväntat oljepris på 2500 kr/m³, dvs ca 25 öre/kWh före panna.

Kostnadskalkylen baserades på följande förutsättningar:

Investeringar:

Abonnentinstallationer, inkl injustering av radiatorsystem	1.4 Mkr
GRUDIS- distributionsnät	2.0 Mkr
Värmecentral	5.7 Mkr
Övrigt, inkl byggränta	<u>0.6 Mkr</u>
Totala investeringar	9.7 Mkr

Fasta årskostnader:

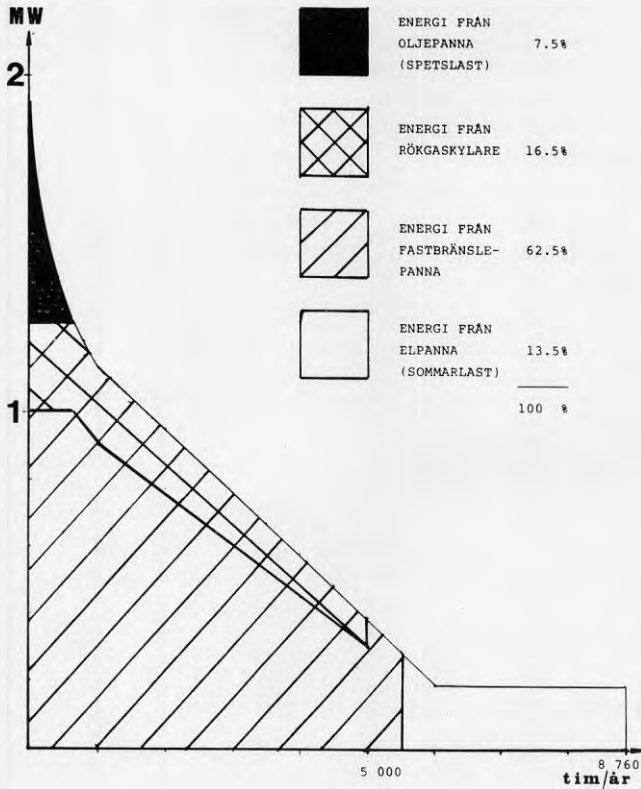
Fasta årliga kapitalkostnader beräknade med: realränta 6%, avskrivningstider: abonnentinstallationer 15 år, värmecentral 20 år, distributionsnät 25 år.

Fast årskostnad:

Kapital	842 kkr/år
Underhåll mm	154 kkr/år
Personal	<u>150 kkr/år</u>
	1 146 kkr/år

Bränslekostnader:

Med antagande om 7% värmeförluster beräknades den behövliga värmeproduktionen till 5,200 MWh/år. Fördelningen på olika produktionsenheter framgår av figur 5.1



Figur 5.1
Fastbränsleeldning med rökgaskylare (Gunnarsson, 1985).

Med följande antaganden om bränslepriser:

Riven bark	60 kr/MWh
El (sommar)	170 kr/MWh
Olja	250 kr/MWh

beräknades den årliga driftkostnaden till 497 kkr.

De årliga kostnaderna sammanfattas i följande tabell:

Tabell 5.1 Kostnader för levererad värme (1985 års priser)

	kkkr/år	öre/kWh
Fasta årskostnader:		
Abonnentcentraler	144	2.9
Distributionsnät	154	3.1
Värmecentral	494	10.1
Övrigt	50	1.0
Underhåll mm	154	3.1
Personal	150	3.1
Driftkostnader:		
Bränslen och el	497	10.2
Summa	1 643	33.5

De kalkylerade kostnaderna har uppräknats med 20% till 1988 års penningvärde för jämförelse med verkligt utfall.

5.2 Verkligt ekonomiskt utfall

I den ekonomiska kalkyl som redovisats ovan förutsattes att anläggningen skulle tas i drift i början av januari 1986. En senare tidpunkt för idrifttagningen innebär extra räntekostnader för anläggningen samt även kostnad för anställd personal, utan motsvarande intäkter.

Hammarstrandsprojektet drabbades, vilket tidigare redovisats, först av en avsevärd försening under vilken tid anläggningen fungerade ytterst bristfälligt, och därefter av en brand, vilket innebar att delar av anläggningen måste återuppbyggas. Den ombyggda anläggningen togs således först i januari 1988. De ekonomiska konsekvenserna för anläggningsägaren av dessa händelser beror på entreprenadavtalets konstruktion och erhållen kompensation via försäkringar och analyseras ej i denna rapport.

Ekonomisk analys för perioden 1988-02-01--04-30

Nedanstående ekonomiska analys baseras på uppmätta prestanda och redovisad bränsleförbrukning under perioden 1988-02-01--04-30. Energimässigt motsvarar denna period ungefär ett tredjedels år.

Det hade givetvis varit önskvärt att följa anläggningen under en längre period för att få ett bättre underlag för analysen. Å andra sidan har förseningen av projektet inneburit att framför allt GRUDIS distributionsteknik under tiden hunnit utvecklas åtskilligt, vilket minskar intresset för en fortsatt utvärdering av detta projekt.

En osäkerhetsfaktor i den ekonomiska utvärderingen är den dåliga tillförlitligheten hos de installerade flödesmätarna av fabrikat CLORIUS, vilket har inneburit att exempelvis uppmätt värmeproduktion från fastbränslepannan fått korrigeras manuellt i efterhand.

Under mätperioden har värmeproduktionen fördelats enligt följande:

Fastbränslepanna	1 050 MWh
Rökgaskylare	197 MWh
<u>Oljepanna</u>	<u>502 MWh</u>
Total värmeproduktion	1 749 MWh

Fjärrvärmenätets effekt har under mätperioden endast under mycket korta perioder överstigit 1,25 MW, vilket enligt kalkylen är den gräns då fastbränslepanna tillsammans med rökgaskylare ensam skulle klara värmeproduktionen. Medeleffekten på nätet har under perioden varit 0,81 MW, och på fastbränslepanna inklusive rökgaskylare endast 0,58 MW. Detta leder till en oljeandel enligt ovan på 29%, och visar på en otillfredsställande tillgänglighet hos fastbränslepannan. Detta trots att bränslet under perioden i huvudsak varit bränsleflis med en fukthalt kring 50%.

Redovisad bränsleförbrukning enligt driftjournal och därav följande bränslekostnader är:

1910 m ³ bränsleflis à 120 kr	229 kkr
90 m ³ bark à 50 kr	5 kkr
<u>57 m³ olja à 1700 kr</u>	<u>97 kkr</u>
Total bränslekostnad	331 kkr

Detta innebär en genomsnittlig bränslekostnad på 18,9 öre/kWh att jämföra med en kalkylerad kostnad (inklusive inflationsuppräkning med 20%) på 12,1 öre/kWh för producerad värme (1988 års prisnivå).

Vid ett oljepris enligt kalkylen (inflationskorrigerat) på 3 000 kr/m³ hade bränslekostnaden stigit med ytterligare 4,2 öre/kWh till 23,1 öre/kWh.

Denna kraftiga ökning av bränslekostnaden har flera orsaker:

1) Anläggningen har i princip konstruerats för att utnyttja bark med fukthalt upp till 60% som bränsle. Trots att godkänd provdrift genomförts med en bränsleblandning innehållande bark och med en fukthalt på 55-60%, har man för den fortsatta driften använt den betydligt dyrare bränsleflisen. Detta dels på grund av svårigheten att få barkleveranser med acceptabel fukthalt dels för att kunna klara driften med tillgängliga personalresurser.

2) Trots att bränslet under mätperioden således i huvudsak varit högkvalitativ bränsleflis har fastbränslepannan (liksom rökgaskylaren) inte i kontinuerlig drift uppnått vare sig kalkylerad effekt eller tillgänglighet.

Fastbränslepannans högre kapitalkostnad, liksom merkostnaden för rökgaskylningen, jämfört med en billigare olje- eller gasoleldad panncentral skall i princip täckas av en lägre bränslekostnad. Resultatet i detta avseende är således tills vidare otillfredsställande.

Förutom bränslekostnaden skiljer sig även de verkliga personal- och administrationskostnaderna avsevärt från kalkylen. I stället för en kalkylkostnad på 150 kkr/år, vilket motsvarar ca 3 öre/kWh, torde den verkliga kostnaden mer realistiskt uppgå till ca 10,5 öre/kWh. Detta visar på nödvändigheten av ett systemtänkande för mindre fastbränsleanläggningar, där behovet av insatser från driftpersonalen begränsas i högre grad.

Kostnaden för levererad värme i Hammarstrand (1988 års prisnivå), baserat på drifterfarenheter under mätperioden, kan därför bedömas uppgå till ca 54 öre/kWh att jämföra med ett inflationsuppräknat kalkylvärde på 40 öre/kWh. Oljepriset är då dessutom endast ca 60% av det kalkylerade, vilket begränsar möjligheten att höja taxorna i motsvarande grad.

5.3 Diskussion av det ekonomiska utfallet

För att ekonomin på sikt skall kunna bli acceptabel i Hammarstrand med befintlig anläggning krävs 1) fastbränsle till ett mer konkurrenskraftigt pris, 2) förbättrad tillgänglighet (såväl drifttids- som effektmässigt) av fastbränslepanna och rökgaskylare, 3) förbättrad konkurrenskraft i jämförelse med alternativ värmeproduktion (exempelvis till följd av ökade oljepriser).

Kostnadsskillnaden beroende på val av distributionssystem (GRUDIS-system alternativt konventionellt fjärrvärmesystem) påverkar endast marginellt totalkostnaden i Hammarstrand. Det finns därför ingen anledning att låta det ekonomiska utfallet i Hammarstrand påverka en fortsatt satsning på kostnadseffektiv värmedistributionsteknik.

Den merkostnad som det innebär att installera en rökgaskylare i en fastbränslecentral torde också kunna motiveras. Rökgaskylaren kan dock inte förväntas nämnvärt förändra fastbränslecentralens konkurrenskraft gentemot andra uppvärmningsslag. De oväntade svårigheterna dels att få tillgång till bark med acceptabel fukthalt dels att klara av förbränningen i en mindre anläggning bör uppmärksammas.

Referenser

Ekman, J-E et al, 1989
Fastbränsleeldning i Hammarstrand
Vattenfall, FUD-Rapport U (S) 1989/11

Gunnarsson, N-A, 1985
Gruppcentral för fasta bränslen med rökgaskondensering
och direktanslutning av fastigheter
Systemstudie för Hammarstrand
Byggforskningsrådet, Rapport R44:1985

Persson, S et al, 1987
GRUDIS - Gruppcentraldistribution
Handbok för system- och komponentutformning
Byggforskningsrådet, T2:1987

Walletun, H, 1988
Värmeproduktionscentral och abonnentcentral vid
GRUDIS-anläggningen i Vedevåg
Utvärdering
Byggforskningsrådet, Rapport R105:1988

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 890868-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Energiplan-
nerarna AB, Stockholm.

R72:1990

ISBN 91-540-5231-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6801072

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirka pris: 44 kr exkl moms